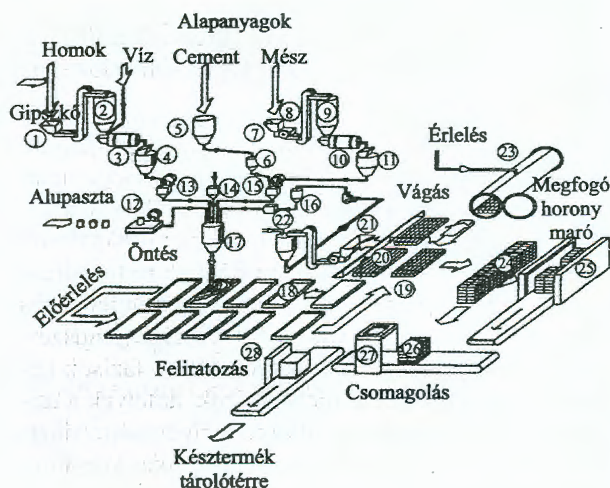
Az égetett mész szerepe a pórusbetongyártásban

Váradi György

YTONG Hungary Kft.

A pórusbetongyártás technológiájának rövid ismertetése

Az égetett mész szerepe a pórusbetongyártásban könnyebben érthető, ha először az YTONG Falazóelemgyár gyártástechnológiáját tekintjük át vázlatosan az *1. ábra* segítségével.



1–Feladógarat. 2–Homoksiló. 3–Homokmalom. 4– Homokiszaptartály. 5–Cementsiló. 6–Cement napi tartály. 7–Kalapácsos törő. 8–Serleges elevátor. 9–Törtmésztartály. 10–Vibrációs malom. 11–Mész napi tartály. 12– Aluszuszpenzió készítése és bemérése. 13–Homokiszapmérleg. 14–Vízmérleg. 15–Kötőanyagmérleg. 16–Hulladékiszap-mérleg. 17–Főkeverő. 18–Öntőformák. 19–Daru I. 20–Vágógép. 21–Vágási hulladék eliszapositása. 22–Hulladékiszap-tartály. 23–Autokláv. 24–Billenőasztal. 25–Horonymaró. 26–Egységrakatképzés. 27–Fóliázó. 28–Feliratozó.

1. ábra. A pórusbetongyártás elvi folyamatábrája

A pórusbetongyártáshoz hat alapanyagra (homok, gipszkő, cement, égetett mész, alumíniumpaszta és víz) van szükségünk. Ahhoz, hogy a homok, a gipszkő és az égetett mész felhasználható legyen a gyártástechnológiában, ezeket az alapanyagokat cementfinomságúra kell őrölni. A homokot és a gipszkövet egykamrás nedves golyósmalomban (3) őröljük meg, és a keveréket homokiszap formájában használjuk fel a gyártás során.

A darabos égetett meszet kalapácsos törőben (7) előaprítjuk, majd vibrációs malomban (10) finomra őröljük. (1999 januárjától darabos égetett mész helyett finomra őrölt meszet vásárolunk Szlovákiából, így mészelőkészítésre jelenleg nincs szükség.)

A duzzasztóanyagként használt alumíniumpasztát koncentrált formában vásároljuk a pasztagyártóktól. Az alumíniumpasztát felhasználás előtt 1:2 arányban vízzel kell hígítani, és az így kapott alumíniumszuszpenziót lehet felhasználni a gyártási folyamatban.

A pórusbeton előállítása 7 m^3 térfogatú, nyitható oldalú formákban (18) történik. Egyszerre mindig csak egy formába (egy öntéshez) elegendő alapanyag-mennyiségeket mérünk be a mérlegtartályokba (12, 13, 14, 15, 16). Az alsó ürítésű mérlegtartályokból meghatározott sorrendben ürítjük le az alapanyagokat a főkeverőbe (17). Az alapanyagokat 3,5 – 4,5 percig intenzíven kevertetjük, majd a pórusbeton masszát a kiolajozott öntőformába ürítjük. A keverés ideje alatt a mérlegtartályokba bemérjük a következő öntés alapanyagait, így a főkeverő kiürülése után azonnal el lehet kezdeni a következő öntési ciklust. Az öntőformákat vonszolóművek mozgatják a két egymással párhuzamos sínpályán. A sínpályák között tolópadok szállítják a formákat. Így a formák tulajdonképpen egy végtelenített pályán haladnak körbe.

Öntés után a pórusbeton masszát tartalmazó formák a 35-40 °C-os előérlelő csarnokba kerülnek, ahol az öntések megduzzadnak, majd 4,5-5 óra alatt fokozatosan megszilárdulnak. A részlegesen megszilárdult öntéseket a formaoldalak segítségével egy daru (19) a vágógépre (20) helyezi. Ezután a daru leemeli a formaoldalakat a pórusbeton tömbről, majd visszaviszi a nyitott formához.

A vágógépen a tömbök feldarabolása 1 mm átmérőjű acéldrótokkal történik. Az öntéseket először kereszt-, majd hosszirányban daraboljuk fel, miközben levágjuk a duzzadási fölösleget is. Ezt vízzel eliszaposítjuk (21, 22), és hulladékiszap formájában visszavisszük a gyártási folyamatba.

A feldarabolt pórusbeton tömböket gőzérleléssel (autoklávolással) megszilárdítjuk. Az autoklávokban (23) 1,2 MPa telített vízgőz atmoszférában 12 óra alatt a pórusbeton elemek elérik végleges szilárdságukat és felhasználásra alkalmassá válnak. Az autoklávolt termékekből egységrakatokat képzünk, a hornyos-eresztékes termékekbe belemarjuk a megfogóhornyokat (25), majd az egységrakatokat zsugarfóliába csomagoljuk (27) és felirattal látjuk el (28).

Kicsomagolás közben a késztermék minőségét vizuálisan ellenőrizzük, a sérült elemeket kicseréljük az egységrakatokban, ezáltal a vásárlókhoz csak a minden szempontból kifogástalan falazóanyagok kerülhetnek.

A pórusbetongyártásnak van néhány olyan jellegze-

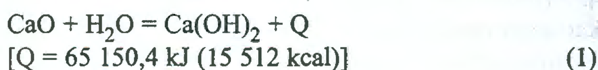
tessége, amelyeket az eredményes termelés érdekében mindig szem előtt kell tartanunk:

– A gyártás során viszonylag nagy mennyiségű többfajta alapanyagot használunk fel, melyekből reprezentatív mintavétel szinte kivitelezhetetlen.
– A pórusbetongyártás nagyon érzékeny gyártástechnológia, az alapanyagok viszonylag jelentéktelen minőségváltatása is komoly zavarokat okozhat a termelési folyamatban.
– A pórusbetongyártás tipikusan negatív visszacsatolású technológiai folyamat. A keverék formákba töltése után változtatásra már nincs lehetőségünk. A gyártási rendellenességek, illetve a késztermék nem kívánatos minőségromlása azok jellegétől függően csak az öntéstől számított 1, 5, 20, 72 óra, esetleg csak több hét múlva jelentkeznek. A rendellenesség(ek) észleléséig pedig a késztermékek előállítása változtatás nélkül folytatódik.

A felsorolt negatív hatások úgy kerülhetők el legeredményesebben, ha a felhasznált alapanyagok minősége a lehető legegyenletesebb. Emiatt csak azoktól a cégektől tudunk alapanyagokat vásárolni, amelyek a hazánkban ma még túl szigorúnak tűnő „YTONG minőségi követelményeknek" is meg tudnak felelni.

A pórusbetongyártás kémiája az égetett mész szempontjából

Az égetett mész a pórusbetongyártás majdnem minden részfolyamatában nagyon lényeges szerepet játszik. A főkeverőben és az előérlelés idején az égetett mész hidratációja játszódik le:

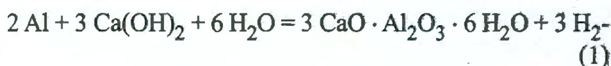


$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2 + Q$$
$$[Q = 65\ 150{,}4\ kJ\ (15\ 512\ kcal)] \qquad (1)$$

Ennek következtében:

– megnövekszik a pórusbeton massza viszkozitása a víz megkötődése miatt;
– lúgos lesz a keverék pH-ja a OH^--ionok koncentrációjának növekedése miatt;
– az erősen exoterm reakció során felszabaduló hőmennyiség hatására megnövekszik a pórusbeton massza hőmérséklete, aminek hatására felgyorsulnak a legkülönfélébb kémiai reakciók sebességei (pl. gázfejlődés, a cement hidratációja stb.).

Lúgos közegben az alumíniumpaszta fémtartalma könnyebben tud reagálni a vízzel hidrogéngáz (H_2) fejlődése közben. A lejátszódó kémiai reakciót kétféleképpen szokták megadni a szakirodalomban:



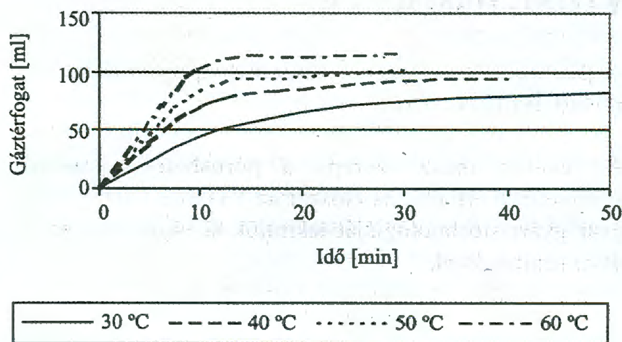
$$2\,Al + 3\,Ca(OH)_2 + 6\,H_2O = 3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,H_2O + 3\,H_2\uparrow \qquad (1)$$

vagy



$$2\,Al + Ca(OH)_2 + 6\,H_2O = Ca[Al(OH)_4]_2 + 3\,H_2\uparrow \qquad (2)$$

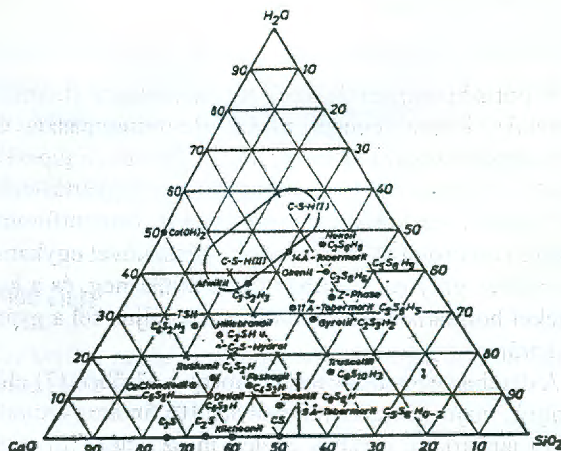
A gázfejlődés sebességét és a fejlődött gáz térfogatát a pórusbeton massza hőmérséklete alapvetően befolyásolja (*2. ábra*) [1].



2. ábra. A hőmérséklet hatása a H_2-fejlődés sebességére

A pórusbeton végszilárdságát alapvetően nem az előállítás során felhasznált cement mennyisége határozza meg, hanem a gőzérleléskor a $SiO_2 - CaO - H_2O$ rendszerben keletkező szilárdsághordozó fázisok (elsősorban tobermoritok) mennyisége. Ezért a pórusbetongyártás kémiája szempontjából nagyon lényeges annak tisztázása, hogy a $CaO - SiO_2 - H_2O$ rendszerben elvileg milyen kalcium-szilikát-hidrát fázisok keletkezhetnek, ezek közül melyek azok, amelyek a természetben is előfordulnak, illetve melyek képződhetnek a pórusbeton-előállítás termodinamikai körülményei között.

A $SiO_2 - CaO - H_2O$ rendszerben képződő stabil fázisok a *3. ábrán* láthatók [1]. A természetben előforduló kalcium-szilikát-hidrátokat a szakirodalom alapján az *1. táblázatban* foglaltuk össze [1]. A különféle kalcium-szilikát-hidrát-fázisok keletkezése nemcsak a mólarányoktól, hanem a hőmérséklettől is függ [1].



3. ábra. A $CaO - SiO_2 - H_2O$ rendszer fázisdiagramja

1. táblázat

Természetes kalcium-szilikát-hidrátok

Sorszám	Megnevezés	Kémiai összetétel	C/S
1	Okenit	CS_2H_2	0,50
1	Nekoit	$C_3S_6H_8$	0,50
2	Truscottit	$C_6S_{10}H_3$	0,60
3	Gyrolit	$C_2S_3H_2$	0,67
4-a	Plombierit (14 Å-Tobermorit)	$C_5S_6H_9$	0,83
4-b	11 Å-Tobermorit	$C_5S_6H_5$	0,83
4-c	Riversideit (9 Å-Tobermorit)	$C_5S_6H_{0-2}$	0,83
5	Xonotlit	C_6S_6H	1,00
6	Afwillit	$C_3S_2H_3$	1,50
7	Foshagit	C_4S_3H	1,67
8	Hillebrandit	C_2SH	2,00

A pórusbetongyártásra alkalmas égetett mész minőségi jellemzői

Az alkalmazandó mésszel szemben támasztott követelmények a következők:

Szemcseméret-eloszlás

Szitamaradék 90 μm-es szitán ≤ 5%

Szitamaradék 32 μm-es szitán ≤ 50%

Vizsgálati módszer: szitálás; ajánlott eszköz: ALPINE légsugárszita.

CaO- és aktív CaO-tartalom

$CaO_{aktív} \geq 90\%$

Vizsgálati módszer: HCl-es titrálással vagy SCWARTZ – ALBERTI módszerével. (A pórusbetongyártás szempontjából az utóbbi a jobb módszer, mert gyorsabb, egyszerűbb és az oltódási görbe eredményeihez jobban illeszkedő eredményeket ad.)

MgO-tartalom

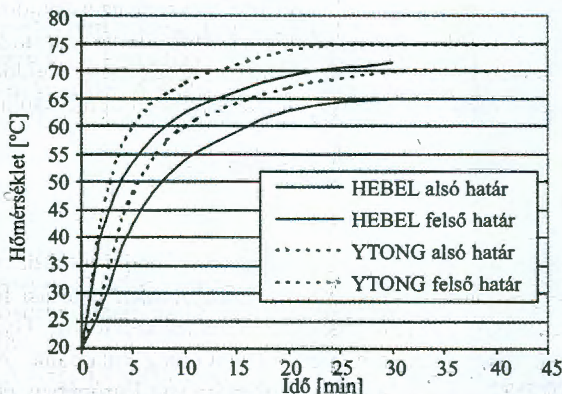
$MgO \leq 2\%$

Vizsgálati módszer: komplexometriás titrálás.

Izzítási veszteség

Izzítási veszteség: 5%

Vizsgálati módszer: MSZ EN 196-2; kivéve az izzítási időt, ami ebben az esetben 30 perc.



4. ábra. Oltódási görbék hőmérséklet-tartományai a HEBEL és az YTONG technológia követelményei alapján

Oltódási görbe

Vizsgálati módszer: MSZ 108-11:1992.

Szedimentációs térfogat

Szedimentációs térfogat: 450-580 ml.

Vizsgálati módszer: az oltódási görbe felvétele után a mésztejet 2000 ml-es rázóhengerbe töltjük; az első órában tízpercenként összerázzuk, majd 23 órán keresztül ülepedni hagyjuk, végül leolvassuk az üledék térfogatát.

Nedves szitamaradék

Szitamaradék 90 μm-es szitán ≤ 5 m%

Vizsgálati módszer: a szedimentációs vizsgálat maradékát 90 μm-es szitán átmossuk, a szitamaradékot 150 °C-on tömegállandóságig szárítjuk.

„Grízesedési hajlam"

Az oltódási sebesség változását lehet vizsgálni a SO_4^{2-} hatására. A mész annál alkalmasabb pórusbetongyártásra, minél kisebb a grízesedési hajlama.

Vizsgálati módszer: megegyezik az oltódási görbe felvételével, de 150 g mész helyett 136,5 g meszet és 13,5 g őrölt szulfáthordozót (gipszkövet) kell bemérni. 15 perc után a szuszpenziót 90 μm-es szitán át kell mosni, és 150 °C-on történő szárítás után meg kell határozni a szitamaradékot. Ez 10 – 50 % között szokott lenni.

Pórusbetongyártás különféle minőségű mésszel

A mészgyárakban előállított darabos vagy őrölt égetett mész minőségi jellemzőit befolyásolja:

- a kibányászott mészkő minősége;
- a mészégetés körülményei;
- az égetőkemence típusa;
- az őrlőmalom és a hozzá tartozó osztályozó típusa.

Pórusbetongyártásra elsősorban a „keményre" égetett mész alkalmas. A modern mészégető kemencékben azonban főleg „lágyan" égetett meszet állítanak elő. Így az utóbbi időben a pórusbetongyáraknak kompromisszumot kell kötni a mészelőállítókkal abban, hogy minimálisan milyen „keménységűnek" kell lennie a pórusbetongyártásra alkalmas mésznek.

A különféle pórusbeton-gyártási technológiák nem egyformán érzékenyek az égetett mész minőségi jellemzőire. Az egyes technológiák ugyanis eltérő típusú recepturákat (mészbázisú, cementbázisú, cement-mész-anhidrit-bázisú stb.) használnak. A tisztán mészalapú recepturával (UNIPOL, BORSOD) dolgozó gyárak érzékenyebbek a mész minőségjellemzőire, mint pl. a cement-mész-anhidrit-bázisú recepturákkal (HEBEL, YTONG Falazóelemgyár) dolgozó pórusbetongyárak. Az utóbbiak ugyanis több-kevesebb cement vagy anhidrit felhasználással könnyebben tudják kompenzálni a mész nem kívánatos minőségjellemzőit.

A pórusbetongyártás tipikusan olyan gyártástechnológia, amely egyenletes, vagy csak nagyon lassan változó minőségű alapanyagokat igényel. Az alapanyagok gyors minőségváltozása ugyanis a negatív visszacsatolású gyártási folyamat miatt egyáltalán nem, vagy csak nagy veszteségek árán követhető.

Ezek a megfontolások természetesen az égetett mészre is igazak. Nem lehet azonban egyértelműen kijelenteni, hogy a pórusbetongyártásra egy és csak egy konkrétan meghatározott minőségű égetett mész alkalmas. A pórusbetongyártás gyártási paramétereinek változtatásával a többi alapanyag (homok, cement, alumíniumpaszta) minőségének lényeges megváltoztatásával a kevésbé alkalmas égetett meszet is fel lehet használni.

A következőkben szeretnénk kitérni arra, hogy a pórusbetongyárak miért az előző fejezetben felsorolt minőségi követelményeket támasztják az égetett mésszel szemben.

Szemcseméret-eloszlás

A szemcseméreteloszlás jelentősen befolyásolja az égetett mész fajlagos felületét, ami pedig az oltódási görbe lefutására van hatással (a heterogén kémiai reakciók sebessége ugyanis a felülettel arányos). A nagyobb mészszemcsék vagy mészagglomerátumok a 3,5 – 4,5 perces keverési idő alatt nem keverednek el egyenletesen a pórusbeton masszában, illetve nem vesznek részt a pórusbetongyártás folyamatában. A reagálatlan mész veszteséget jelent, mert ebből a mészből nem keletkeznek szilárdsághordozó fázisok, másrészt rontja a késztermék minőségét. A pórusbeton elemeken levő fehér színű, könnyen porlódó mészfoltok ugyanis bizalmatlanságot keltenek a késztermékkel szemben.

CaO-tartalom

A pórusbetongyártás gazdaságossága miatt nagyon fontos az aktív CaO-tartalom. A gyártás első fázisában csak a CaO tud a vízzel reagálni és hőt fejleszteni. Alacsony aktív CaO-tartalmú mészből ezért nagyobb mennyiséget kell felhasználni 1 m^3 késztermék előállításához.

A $CaCO_3$ formájában jelen lévő CaO nem vesz részt a pórusbetongyártás folyamatában, ezért a gyártás szempontjából inert anyagnak tekinthető. Az égetett mészben mindig jelen lévő több-kevesebb $Ca(OH)_2$ a gyártás első szakaszában inert anyagként viselkedik, és csak az autoklávolás folyamán vesz részt a hidrotermális reakcióban.

MgO-tartalom

A MgO lassabban – általában csak az autoklávban – reagál a vízzel $Mg(OH)_2$ képződése közben. A $Mg(OH)_2$ és a magnézium-szilikát-hidrátok képződése jelentős térfogat-növekedéssel jár, aminek következtében a már kialakult vagy kialakulóban lévő pórusbeton-struktúrában mikrorepedések keletkezhetnek. A mikrorepedések pedig csökkentik a késztermék nyomószilárdságát.

Izzítási veszteség

Az izzítási veszteség és az aktív CaO-tartalom alapján meg lehet becsülni, hogy az égetett mészben milyen arányban fordul elő a $Ca(OH)_2$ és a $CaCO_3$.

Oltódási görbe

Az oltódási görbéből tájékoztatást kapunk arról, hogy az égetett mész milyen gyorsan reagál a vízzel. Ez azért nagyon fontos, mert ennek alapján lehet megbecsülni, hogy milyen gyorsan növekszik majd a pórusbeton massza hőmérséklete, viszkozitása, hogyan duzzad az öntés után, és milyen gyorsan kezd kötni a cement.

Sem a túl lágyan, sem a túl keményen égetett mész nem alkalmas pórusbetongyártásra. A különböző gyártástechnológiák (pl. YTONG, HEBEL) eltérő hőmérséklet-tartományú oltódásigörbe-intervallumokat tekintenek ideálisnak *(4. ábra..)*

Gyorsan oltódó mészből csak különféle technológiai nehézségek árán gyártható pórusbeton. (Öntés után zsugorodás léphet fel, hullámossá válhat a felület, duzzadási repedések keletkezhetnek a tömbben stb.) Ezeket a rendellenességeket a mész mennyiségének a csökkentésével és a víz/szárazanyag hányad növelésével lehet kompenzálni. A túl keményre égetett mész azért alkalmatlan pórusbetongyártásra, mert a túlégetett CaO – a MgO-hoz hasonlóan – csak az autoklávolás során reagál a vízzel.

Szedimentációs térfogat

Tulajdonképpen a mész szaporaságának a meghatározására szolgáló YTONG eljárás. A pórusbetongyártás szempontjából ennek a minőségjellemzőnek nincs döntő fontossága.

Nedves szitamaradék

A mész őrlésfinomságára, illetve tisztaságára lehet következtetni ebből az értékből.

„Grízesedési" hajlam

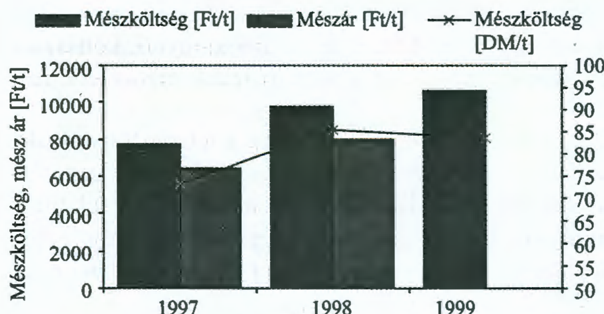
A pórusbeton masszában mindig van jelen oldható SO_4^{2-}, ami a mész oltódási sebességét, valamint a massza viszkozitását lényegesen megváltoztatja. Az YTONG cég fejlesztési központja szerint a mésznek ez a tulajdonsága elsősorban a mészkő minőségétől, illetve származási helyétől függ, ezért az égetett mésznek ezt a tulajdonságát a mészgyártók sem tudják érdemben befolyásolni.

A pórusbetongyártás gazdasági vonatkozásai

Azonkívül, hogy a pórusbetongyártás rendkívül érdekes és szellemes műszaki eljárás, mint minden gyártási folyamatnak, úgy ennek is gazdaságosnak kell lennie. Gyárunk 100%-ban a német YTONG cég tulajdana. Az YTONG cégnek 24 pórusbetongyára van Európában, ebből 10 gyár található a volt szocialista országok terüle-

tén. A cégvezetés folyamatosan figyelemmel kíséri az egyes gyárak tevékenységét, rendszeres időközönként összehasonlítja az egyes gyárak alapanyagköltségeit, a fajlagos alapanyag és energia felhasználási mutatóit stb. Ezek alapján határidőhöz kötött feladatokat írnak elő a gyárak számára a termelési folyamat költségeinek minél nagyobb mérvű csökkentésére.

Így kényszerültünk mi is arra, hogy az 1998-ban nagyon megemelkedett mészköltségeink miatt a BÉCEM Rt. mellett másik mészgyártót is keressünk magunknak *(5. ábra)*. 1997 végén-1998 elején először a hazai mészgyártókkal tárgyaltunk. Mivel egyik magyarországi mészüzem sem tudott igényeinknek megfelelő őrölt égetett meszet szállítani, így az egyik szlovák gyár ajánlatát kellett elfogadnunk.



5. ábra. A mészköltségek és mészárak változása 1997-1999 között

A szlovák mész lényegesen alacsonyabb ára miatt a BORSOD Falazóelemgyár 1998-ban már kb. 50-60%-ban szlovák meszet használt fel. A BORSOD Falazóelemgyár termékei iránt a kereslet az elmúlt két évben annyira visszaesett, hogy termelése – az olcsóbb mészár ellenére is – veszteséges lett, ezért a cégvezetés ezt a gyárunkat 1998 decemberében bezárta.

Vállalatunk évi mészfelhasználása így 1999-ben az 1998. évi 18 950 t/év-ről 7750 t/év-re esett vissza. Mivel időközben a BÉCEM Rt. mészüzemét is leállították, így a fenti mennyiséget teljes egészében Szlovákiából szerezzük be. Eddigi tapasztalataink alapján úgy látjuk, hogy a szlovák mészgyárban végrehajtott folyamatos fejlesztés eredményeképpen a szlovák és a bélapátfalvai mész minőségi jellemzői között lényeges eltérés nincs.

Egyértelműen előnynek tartjuk, hogy a szlovák mészgyár finomra őrölt égetett meszet tud szállítani, így mészelőkészítő üzemünket ebben az évben megszüntethettük. A szlovák mészgyár korszerűsítése most is folyik, így remélhetőleg a jövőben még jobb, illetve még egyenletesebb minőségű meszet tudunk tőlük vásárolni.

A 90-es évek elején különösen, de az elmúlt években is nagyon sok mészajánlatot kaptunk a legkülönfélébb cégektől. Az eddigiek alapján látható, hogy az ajánlatok elbírálásánál rendkívül körültekintően és óvatosan kell eljárnunk, mert az égetett mész egyik vagy másik minőségi paraméterének nem megfelelő volta a teljes gyártási folyamatunkat megzavarhatja. Hiába olcsó a mész, ha abból előreláthatólag csak gyártástechnológiai nehézségek árán, magas selejtaránnyal tudnánk készterméket előállítani, akkor még nagyüzemi próbára sem vállalkozhatunk. Gyártósorunk kialakítása ugyanis olyan, hogy a rendszerbe bekerült alapanyagokat csak a technológiai főfolyamatban tudjuk felhasználni. A fentiek figyelembevételével azonban továbbra is szívesen fogadunk minden ajánlatot.

Irodalom

Dr.-Ing. H. Gundlach: Dampfgehätete Baustoffe. 1973. Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin.